

Aus dem Institut für Angewandte Zoologie der Universität Bonn und dem Zoologischen Institut der Universität München

Rasterelektronenoptische Untersuchungen zur Feinstruktur von Lepidopteren-Gespinsten¹⁾

Von Clas M. Naumann

Übersicht

1.	Einleitung	28
1.1	Problemstellung	28
2.	Material und Methoden	28
3.	Ergebnisse	30
3.1	Reine Serofibroin-Kokons (Seidenspinner-Typ)	30
3.2	Gespinnste mit Fremdeinschlüssen (Lymantriiden-Typus)	31
3.3	Gespinnste mit Kristall-Einlagerungen (Kristall-Kokon-Typus)	31
3.4	Chemische Identität und Herkunft der Kristalle	33
3.5	Notodontiden-Typus	35
3.6	Rhopaloceren-Typus	35
4.	Diskussion	35
5.	Zusammenfassung	36
6.	Literatur	36

Summary:

It has been shown by scanning electron micrographs that there are at least five different types of lepidopterous cocoons and spin yarns. These have been identified and described as the silkworm-type, the Lymantriid type, the cocoon-crystallite-type, the Notodontid type and the Rhopaloceran type. The cocoon-crystallite type contains silk substances (serofibroines) and crystallite substances, which have been studied chemically, by x-ray spectrometer and by x-ray diffractometer. They consist of calcium oxalate monohydrate in the form of whewellit. The origin and place of production and storage are discussed. Both, form and way of application seem to be family characters and — being mainly synapomorph characters — may be used for the definition and establishment of monophyletic taxa. The spin yarn of all studied families of Rhopalocera carries in a uniform way little crystallites. This possibly is a synapomorph character of the Rhopalocera.

¹⁾ Mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft

1. Einleitung

Der Feinbau von Lepidopteren-Gespinsten hat bereits früh Interesse erweckt: wohl vorwiegend aus angewandten Gesichtspunkten hat man sich der chemischen Struktur der Gespinststoffe — vor allem beim Seidenspinner *Bombyx mori* Linnaeus, 1758 — zugewandt. Heute wissen wir, daß das Seidenprotein im wesentlichen aus Glycin, Alanin und Tyrosin aufgebaut ist und von den zu Spinnröhren umgewandelten Labialdrüsen der Raupen gebildet wird (Bricteux et al. 1959, Duchâteau et al. 1960). Die Gespinststoffe anderer Arthropoden (untersucht wurden vorwiegend verschiedene Schmetterlingsarten, aber auch Collembolen, Hymenopteren, Planipennier und andere) variieren in ihrer Zusammensetzung geringfügig, sind jedoch ebenfalls stets aus verschiedenen Proteinbausteinen aufgebaut (Blaich & Rupprecht, 1968). Morphologische Untersuchungen über die Mikrostruktur der Gespinste stehen jedoch bisher noch aus, obwohl bereits seit langem bekannt ist, daß neben Gespinst-Proteinen auch andere Substanzen (Urate, Ammoniumsalze u. a.) in den Kokons auftreten können (Schindler 1878, Dewitz 1904 a, 1904 b). Ein bekanntes Beispiel sind etwa die gelblich-weißen, talkumartigen Substanzen in den Gespinsten verschiedener Lasiocampiden (*Gastropacha quercifolia* (Linnaeus, 1758), verschiedene *Malacosoma*-Arten) (Réaumur 1734, 1736; Deegener 1928, Friedrich 1975).

1.1 Problemstellung

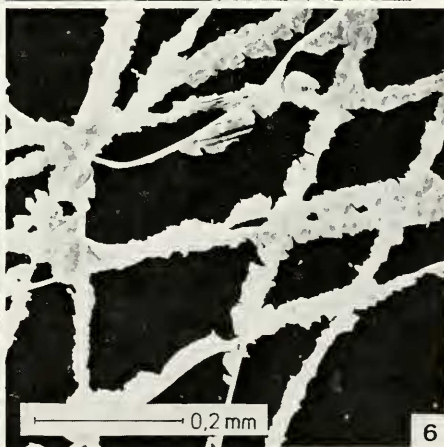
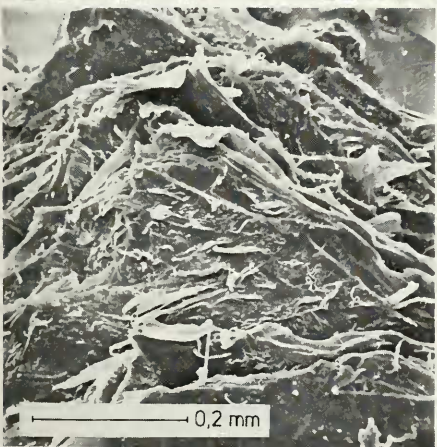
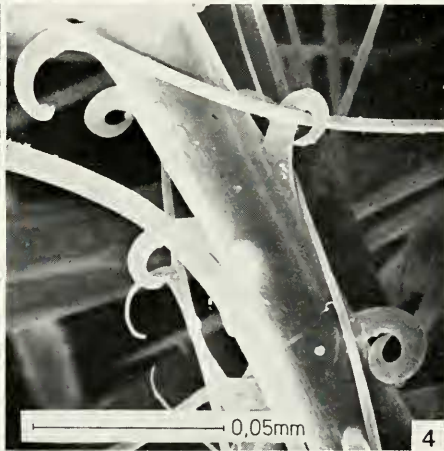
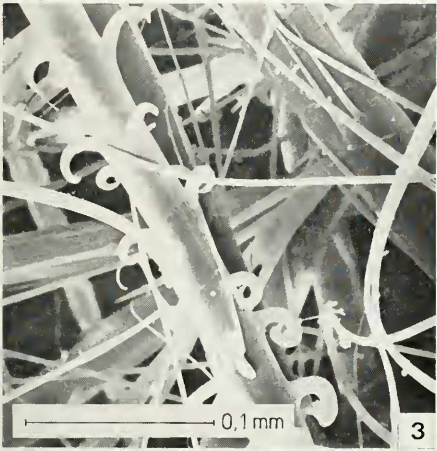
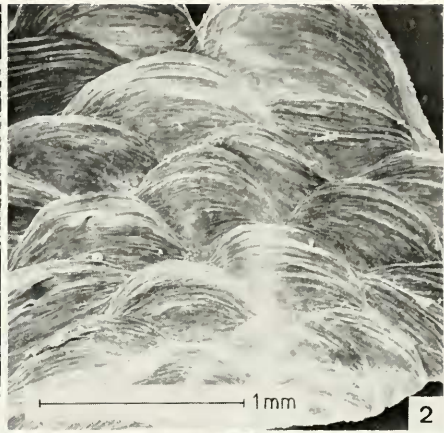
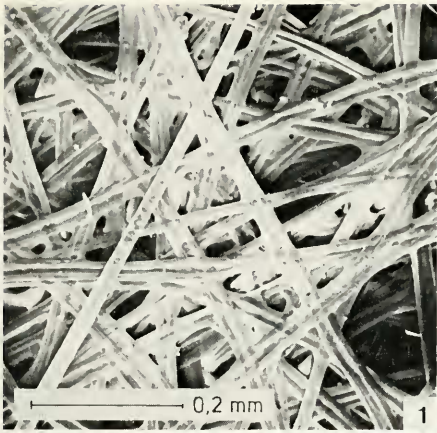
Die Untersuchungen, über die nachstehend berichtet werden soll, wurden ursprünglich durchgeführt um aus dem Feinbau der Kokons Anhaltspunkte für phylogenetische Beziehungen einiger Lepidopteren-Gruppen zu erhalten. Obwohl die Beobachtungen in dieser Richtung erst zum Teil ausgewertet werden konnten, soll hier zunächst versucht werden die verschiedenen Kokon- und Gespinstformen zu erfassen und nach ihren Bestandteilen zu ordnen.

2. Material und Methoden

Die Kokonproben wurden, i. a. von der Außenseite und von der Innenseite, im Stereoscan-Rasterelektronen-Mikroskop untersucht. Die Proben wurden zuvor gereinigt und dann im Hochvakuum mit Gold bedampft. Für die chemische Identifizierung einiger Kristallsubstanzen stand ein energiedispersives Röntgenspektrometer (Fabrikat Ortec) und ein Röntgendiffraktometer (Mineralogisches Institut der Universität Bonn) zur Verfügung.

Für Unterstützung bin ich vor allem dem Leiter des Paläontologischen Instituts der Universität Bonn, Herrn Prof. Dr. H. K. E r b e n zu Dank verpflichtet. Herr

Rasterelektronenoptische Aufnahmen der Feinstrukturen von Lepidopteren-Gespinsten: 1. *Bombyx mori* (Serofibroin-Kokon), 2. *Coleophora palliatella* (*Coleophoridae*); 3, 4: *Dasychira selenitica* (*Lymantriidae*); 5. *Hybocampa milhauseri* (*Notodontidae*); 6. *Apaturia ilia* (*Nymphalidae*): Haftgespinst der Stürzpuppe, in das der Kremaster der Raupe eingehakt wird.



Dr. Flajs vom gleichen Institut unterstützte mich bei der Benützung der Geräte. Weitere rasterelektronenoptische Aufnahmen konnten im Institut für Angewandte Zoologie der Universität Bonn (Direktor Prof. Dr. W. Kloft) von Frl. B. Belaï angefertigt werden. Das untersuchte Gespinstmaterial stellte — soweit es nicht eigenen Aufsammlungen entstammte — die Zoologische Sammlung des Bayerischen Staates (Dr. W. Dierl), zum kleineren Teil das Museum A. König in Bonn zur Verfügung. Allen Beteiligten danke ich für ihre Unterstützung.

3. Ergebnisse

Insgesamt lassen sich fünf Grundtypen der Gespinstzusammensetzung bei den Lepidopteren erkennen:

1. reine Serofibroin-Gespinnste ohne Einschlüsse
2. Serofibroin-Gespinnste mit Fremdkörper-Einschlüssen
3. Kokons mit kristallinen Einlagerungen
4. Kokons mit amorphen Einlagerungen
5. Gespinnste mit einer nachträglichen Auflagerung von Kristallsubstanzen auf die einzelnen Fäden.

Diese Grundformen sollen nachstehend kurz beschrieben und zugleich einige Fragestellungen diskutiert werden, die sich aus den Beobachtungen ergeben.

3.1 Reine Serofibroin-Kokons (Seidenspinner-Typ)

Der hinsichtlich seines Aufbaues einfachste Kokon-Typ besteht aus einem einfädigen Gespinnst, bei dem der „endlose“ Seidenfaden durch alternierendes Umlegen der Laufrichtung zu einem Kokon verknüpft wird. Dieser Fall ist in besonders typischer Weise beim Seidenspinner, *Bombyx mori*, realisiert. — Da die Spinnröhren der Lepidopteren zwar paarig angelegt sind, jedoch einen gemeinsamen unpaaren Ausführungsgang besitzen (Helm 1876; Bourgogne 1951) wäre ein einfädiges Gespinnst zu erwarten. Wie jedoch aus der Abb. 1 hervorgeht ist dieser Fall nicht stets gegeben: die Ausführungsgänge der Spinnröhren sind bei einzelnen Formen unterschiedlich stark verschmolzen und es kommt im Extremfall zu zwei vollkommen getrennt verlaufenden parallelen Spinnfäden. Im Falle des Seidenspinners *Bombyx mori* legen sich die beiden Teilfäden vor der endgültigen Erstarrung so eng aneinander, daß sie bei der kommerziellen Verarbeitung des Gespinnstes als Einzelfaden reagieren.

Bei anderen Arten, wie z. B. der Noctuide *Polychrysis moneta* (Fabricius 1787) treten auch rein einfädige Gespinnste auf. Diese Beobachtung läßt auf eine abweichende Morphologie des Ausführungsganges der Spinnröhren schließen. Es kann allerdings auch nicht ausgeschlossen werden, daß die Spinnsubstanz in diesem Fall eine (artspezifisch ?) andere Viskosität besitzt und daher schneller verschmilzt. Stark vergrößerte Aufnahmen zeigen auch in diesem Fall, daß der Faden aus zwei miteinander verschmolzenen Einzelelementen besteht.

Der gleichmäßigen Anordnung der Spinnfäden, die sich bei den erwähnten Gespinnsten der Noctuiden und Bombyciden findet, steht bei einigen spezialisierten Formen ein differenzierter Bau des Kokons gegenüber, der zu art- oder gruppentypischen Strukturen führt. Als Beispiel sei hier *Coleophora palliatella* Zincken, 1818

(*Coleophoridae*) erwähnt (Abb. 2): hier werden die einzelnen Teilbereiche des Kokons nacheinander in konzentrischen Spinnbewegungen angelegt, so daß schließlich ein fischschuppenartiges Muster entsteht. Nahaufnahmen zeigen, daß auch dieser Kokontyp aus einzelnen Spinnfäden aufgebaut ist, die stärker als bei den zuvor erwähnten Formen miteinander verschmolzen sind und daher ein flächiges Gebilde ergeben.

3.2 Gespinste mit Fremdeinschlüssen (Lymantriiden-Typus)

Hierunter zählen alle diejenigen Gespinstformen, bei denen neben Seidenstoffen körperfremde Teile (z. B. Steinchen, Stengel, Blätter usw.) oder auch Haare, Borsten, etc. in den Kokon einbezogen werden. Als Beispiel seien zwei Aufnahmen eines Gespinstes von *Dasychira selenitica* (Esper, 1783) gezeigt (Abb. 3 und 4), die ihre Haare in den Kokon einbaut. Die Widerhaken der Raupe dienen in diesem Fall der zusätzlichen Versteifung und Verfestigung des Gespinstes. Fremdeinschlüsse können organischer oder anorganischer Natur sein, regelmäßig oder zufällig eingebaut werden und auch innerhalb einer Art wechseln. Im Rahmen dieser Übersichtsstudie kann jedoch nicht auf die Vielfalt dieser bei zahlreichen Lepidopteren-Familien anzutreffenden Einschlüsse eingegangen werden.

3.3 Gespinste mit Kristall-Einlagerungen (Kristall-Kokon-Typus)

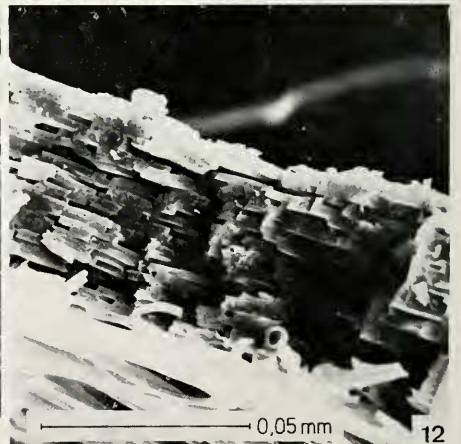
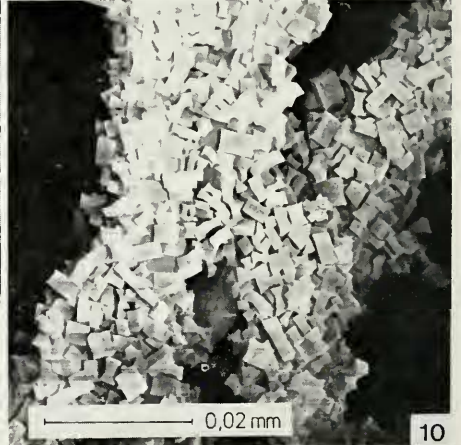
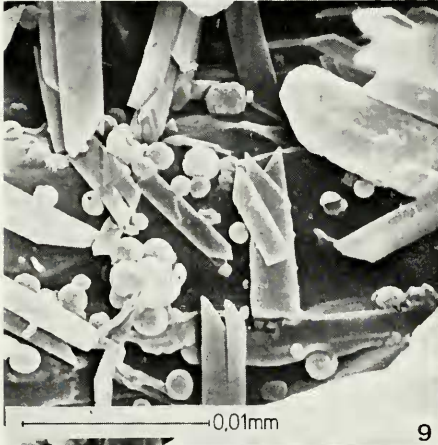
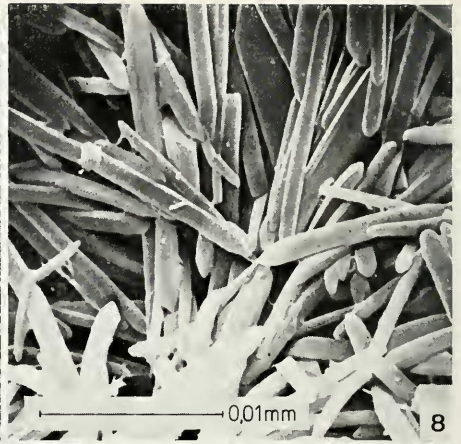
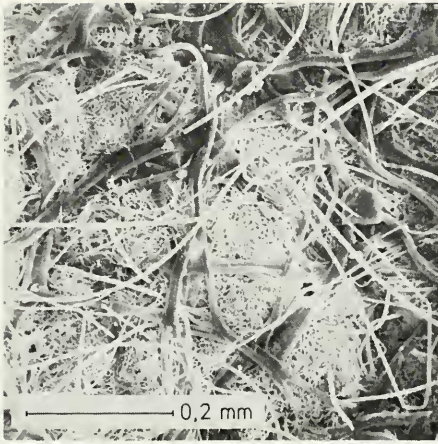
Bei einer Anzahl von Familien zeigen die Kokons auf den ersten Blick die gewohnte Struktur des Seidenspinner-Typs. Bei genauerer Untersuchung und entsprechender Vergrößerung lassen sich jedoch unter dem Maschenwerk der Gespinstfäden feine, kristallartige Strukturen erkennen. Dieser Typus soll als Kristall-Kokon-Typus bezeichnet werden. Je nach der Mikrostruktur und (wie an anderer Stelle zu zeigen ist) der Bildungsweise lassen sich folgende Gruppierungen erkennen:

a. *Gastropacha*-Typus (Abb. 7—9)

Hier liegen die Kristalle unregelmäßig geordnet zwischen und in einem relativ dichten Gespinst. Die Kristalle weisen keine besondere Ordnung auf, sind jedoch weitgehend größen- und formkonstant. Innerhalb der Kokons können die Kristalle bevorzugt an bestimmten Stellen, etwa im unteren Abschnitt (*Gastropacha quercifolia*, Abb. 9) oder aber gleichmäßig über die Gesamtfläche (*Cosmotriche potatoaria* (Linnaeus, 1763), Abb. 7 und 8; *Lasiocampa quercus* (Linnaeus, 1758)) verteilt sein. Der *Gastropacha*-Typus wurde bisher bei den genannten Lasiocampiden (auch bei *Diplura loti* (Ochsenheimer, 1810)), bei Saturniiden (*Eudia pavonia* Linnaeus, 1758; *Saturnia pyri* Denis & Schiffermüller, 1775), Limacodiden (*Moneima corallina*, *Limacodes testudo*) und Incurvariiden (*Nemophora panzerella* (Hübner, 1819)) festgestellt. Es ist jedoch anzunehmen, daß er noch weiter verbreitet ist.

b. *Zygaena*-Typus (Abb. 11 und 12)

Beim *Zygaena*-Typus liegen die Kristalle in einer regelmäßigen Schichtung vor, d. h. die schindelförmigen Einzelkristalle befinden sich in einem Ordnungszustand und bilden eine geschlossene, jedoch luftdurchlässige Schale. Im Extremfall (z. B. *Zygaena fausta* (Linnaeus, 1763)) haben wir es mit einem dreischichtigen Kokon zu tun, der wie folgt aufgebaut ist:



- ein lockeres Außengespinst, das vielfach nur aus wenigen, lose miteinander verbundenen Fäden besteht (Abb. 11),
- eine in der Mitte der Kokonwand angeordnete, geschlossene Kokonschale, die den Hauptteil des Kokongewichtes und -volumens ausmacht.
- ein inneres Abschlußgespinst, das im allgemeinen etwa aus 2—3 übereinander liegenden Fadenschichten besteht. Es bildet die eigentliche innere Auskleidung der Puppenwiege (Abb. 12).

c. *Malacosoma*-Typus (Abb. 10)

Dieser Kokontyp ließ sich bisher nur bei dem Ringelspinner *Malacosoma neustria* (Linnaeus, 1758) und dessen Gattungsverwandten nachweisen. Er weicht von den beiden bisher genannten Typen dadurch ab, daß die Kristalle nicht schichtweise, sondern um die einzelnen Gespinstfäden herum abgeschieden werden. Es konnte bisher nicht geklärt werden, wie es zu dieser sehr speziellen Bildungsweise kommt.

3.4 Chemische Identität und Herkunft der Kristalle

Vor der Besprechung der beiden letzten Gespinstformen sei kurz auf einige Beobachtungen und Fragestellungen eingegangen, die sich bei der weiteren Untersuchung von Kristallkokons ergaben.

Als erstes stellt sich die Frage nach der chemischen Identität der in den Kokons eingelagerten Kristallsubstanzen. Diese lassen sich (bei *Gastropacha*, *Lasiocampa* und *Zygaena*) durch Mazerieren des Kokons in etwa 5—10%iger Kalilauge isolieren. Zur Kontrolle wurden rasterelektronenoptische Aufnahmen von Kristallen gemacht (*Lasiocampa quercus*, *Zygaena fausta*), die derart behandelt, gewaschen und im Trockenschrank bei etwa 50° C getrocknet worden waren. Sie zeigten keinerlei Abweichungen gegenüber den im Kokon eingelagerten Kristallen. Lediglich solche Kristalle aus dem Kokon von *Lasiocampa quercus*, die bei erhöhten Temperaturen (90—100° C) längere Zeit behandelt worden waren, rundeten sich an den Kanten leicht ab. Dies ist auf einen teilweisen Lösungsprozeß, jedoch nicht auf eine chemische Reaktion der Kristalle zurückzuführen. *Lasiocampa*-Kristalle bildeten auch nach dem Herauslösen des Serofibroins eine feste, zusammenhängende, lederartige Schicht von dunkelbrauner Farbe, während die Kristalle bei *Zygaena fausta* ein rein weißes, lockeres Pulver ergaben. Die gewonnenen Proben wurden mit einem energiedispersiven Röntgenspektrometer (Fa. Ortec) untersucht. Dieses Gerät gestattet es im elektronenoptischen Bild während der Untersuchung selektiv auf die Anwesenheit verschiedener Metallionen zu prüfen. Abb. 13 zeigt derartig gewonnene Verteilungsbilder für Calcium. Die mit Probensubstanz beschichteten Stellen des Objektträgers zeigen durch helles Aufleuchten die Anwesenheit von Calcium an. Alle untersuchten Kristallproben enthielten als einziges (in starker Konzentration anwesendes) Metall Calcium.

7. *Cosmotriche potatoria* (*Lasiocampidae*): Außenansicht des Gespinstes, 8. *Cosmotriche potatoria*: Einzelkristalle. 9. *Gastropacha quercifolia* (*Lasiocampidae*): Einzelkristalle und Pulversubstanz der Innenseite 10. *Malacosoma neustria* (*Lasiocampidae*): Einzelfäden des Gespinstes mit Kristallauflagerungen. 11. *Zygaena fausta* (*Zygaenidae*): Kokon-Bruchkante, Aufsicht von oben. 12. *Zygaena fausta*: Kokon-Bruchkante von innen gesehen (unten Gespinstauskleidung der Kokonschale).

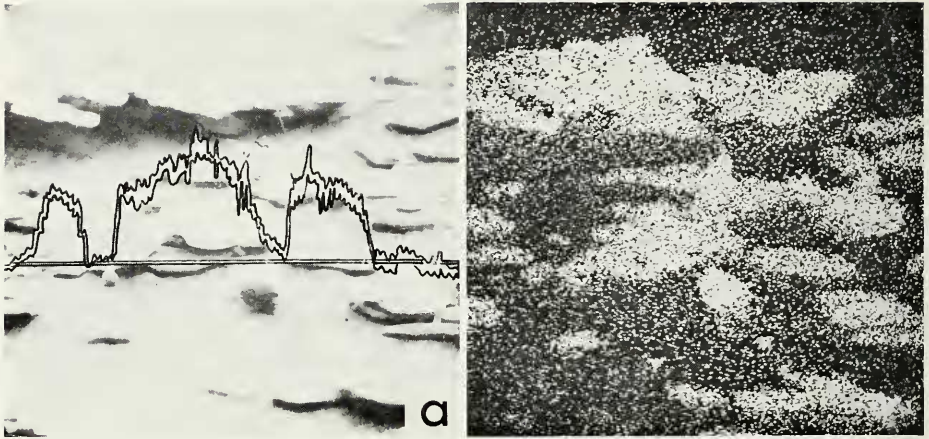


Abb. 13: Calcium-Verteilungsbilder einer isolierten Kristallprobe aus dem Kokon von *Zygaena fausta* (Zygaenidae) im energiedispersiven Röntgenspektrometer (Fa. Ortec):
 a) Intensitätsspektrum entlang der angegebenen optischen Schnittlinie
 b) Gesamtverteilungsbild

Die weitere Untersuchung der Proben erfolgte mit Hilfe eines Röntgendiffraktometers, wobei sich für *Lasiocampa quercus* und *Zygaena fausta* trotz des unterschiedlichen äußeren Erscheinungsbildes die gleiche Zusammensetzung und die gleiche Kristall-Modifikation ergab: Calcium-oxalat-Monohydrat ($\text{CaO} \cdot \text{C}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) in der Modifikation Whewellit. Whewellit ist eine in Biomineralisaten häufig auftretende Modifikation des Calcium-Oxalat, die z. B. besonders häufig in Körpersteinen (Gallen-, Nieren-, Blasensteinen) gefunden wird (Flajs, persönliche Mitteilung). Es scheint daher bereits wegen dieser Übereinstimmung wichtig, Bildungsweisen und Speicherungsmechanismen der Kristalle zu studieren.

Verhaltensbeobachtungen lebender Raupen zeigen, daß Lasiocampiden-Larven nach der Herstellung eines dünnmaschigen Außengespinstes durch kreisende Bewegung des Afters eine anfangs klare Flüssigkeit abgeben, die nach wenigen Minuten bis Stunden erstarrt, wobei der Kokon dann die endgültige Farbe annimmt. Die Literatur weist außer einigen älteren Beobachtungen von Dewitz (1904 a, b) hierzu nur sehr wenige Angaben auf. Urban (1943) konnte an der Lasiocampide *Poecilocampa populi* (Linnaeus, 1758) feststellen, daß die Raupe (die übrigens in diesem Fall noch zuvor oral aufgenommene Erdklumpen in den Kokon einarbeitet) eine über den After ausgeschiedene Masse noch einmal oral aufnimmt, sie wieder erbricht und sie dann gleichmäßig mit den Mundwerkzeugen in die Gespinstmatrix einarbeitet.

Bei Zygaeniden liegen hingegen unterschiedliche Beobachtungen vor: Urban (1943) hat an *Zygaena loniceræ* (Scheven, 1777) beobachtet, daß die Raupe nach der Anfertigung des Außengespinstes durch den After einige Flüssigkeitstropfen abgibt, die abwechselnd in die untere und obere Hälfte des spindelförmigen Kokons eingebaut werden. Tarmann's (1975) Beobachtungen ergaben hingegen, daß

der Flüssigkeitstropfen nicht aus dem After, sondern aus der Mundöffnung abgegeben wurde (*Zygaena filipendulae* (Linnaeus, 1758)). Der Modus des Konkombaus bei *Zygaena* ist daher durchaus noch nicht eindeutig geklärt und bedarf weiterer Beobachtungen. — Lediglich D e w i t z (1904 a, b, 1921) — und vor ihm R é a u m u r (1734, 1736) — hat sich mit der Frage des Speicherungsortes der Kristallsubstanzen beschäftigt. Er konnte zeigen, daß die in den Malpighi'schen Gefäßen gespeicherten Exkretsubstanzen bei *Eriogaster lanestris* (Linnaeus, 1758) und bei *Saturnia pyri* (Denis & Schiffermüller, 1775) über den After abgegeben werden, sobald das Außengespinnt abgeschlossen wurde.

3.5 Notodontiden-Typus (Abb. 5)

Bei den Kokons der Notodontiden *Hybocampa milhauseri* (Fabricius, 1775) (Abb. 5) und *Cerura vinula* (Linnaeus, 1758) findet sich anstelle der Kristalle der oben beschriebenen Gespinst-Typen eine meist bräunliche, amorphe Masse, die sehr hart ist und bis zu 90 % des Gesamt-Kokon-Gewichtes ausmachen kann. Offensichtlich handelt es sich jedoch nicht um die oben beschriebenen Oxalate, da die Substanzen weder isoliert werden konnten noch kristalline Struktur aufweisen. Die chemische Identifizierung dieser Substanzen steht noch aus.

3.6 Rhopaloceren-Typus

Die meisten Tagfalter stellen vor der Verpuppung kleine, flächige Gespinste her, in die sich bei der Verpuppung der Kremaster der Puppe einhakt. Dies gilt sowohl für Gürtel- als auch für Stürzpuppen. Abb. 6 zeigt, daß diesen Gespinstfäden feine kristallartige bis lamellöse Substanzen aufgelagert sind. Im Extremfall können sich zwischen den einzelnen Fäden sogar geschlossene Lamellen ausbilden. Die chemische Natur auch dieser Substanzen ist noch ungeklärt. — Derartige kristallit-besetzte Haftgespinste wurden bei Papilioniden, Pieriden, Nymphaliden und Lycaeniden festgestellt. Die Puppen der Satyriden liegen bekanntlich meist frei am Boden und werden nicht angeheftet. Hesperiid-Gespinnste konnten aus Materialmangel leider nicht untersucht werden.

4 Diskussion

Die auffallend unterschiedliche Feinstruktur der untersuchten Lepidopteren-Gespinnste wirft die Frage nach der Entstehung und nach stammesgeschichtlichen Zusammenhängen zwischen den einzelnen Formen auf. Die engen Beziehungen der *Bombycidae* zu den *Saturniidae* lassen zunächst vermuten, daß das Fehlen von Kristallsubstanzen bei gleichzeitiger starker Zunahme der Gesamtmenge an Seidensubstanz (Serofibroin) einen gegenüber den Saturniiden abgeleiteten Zustand darstellt. Hierauf deutet auch besonders die Beobachtung von D e w i t z (1904 b), daß die Raupe von *Bombyx mori* vor dem Beginn des Spinnvorganges einen oder mehrere Flüssigkeitstropfen abgibt, die bei mikroskopischer Untersuchung Kristallite enthalten. Demzufolge wäre das gesamte Gespinnst des Seidenspinners ein lediglich dem Innengespinnt der *Saturniidae* entsprechendes Gebilde.

Ob diese Beobachtung auch für die *Lymantriidae* zutrifft, bei denen sich bisher lediglich sekundäre Elemente als Verstärkungsubstanzen (z. B. Haare) nachweisen

ließen, bleibt zu prüfen, darf aber nach Freilandbeobachtungen eher bezweifelt werden.

Hingegen ist die Existenz von Kristallen in den Kokons der Lasiocampiden offensichtlich ein familientypisches Merkmal. Die Tatsache, daß jedoch innerhalb dieser Familie wenigstens drei verschiedene Kristall- und Ablagerungsformen beobachtet werden konnten, läßt darauf schließen, daß hier auch stammesgeschichtlich auswertbare Merkmalskomplexe vorliegen.

Zukünftige Untersuchungen werden dem Speicherungsmodus der Kristallsubstanzen in den Malpighi'schen Gefäßen besondere Aufmerksamkeit zuwenden müssen. So wird zu prüfen sein, in welcher Form und von welchem Moment an die *Lasiocampidae* und die *Zygaenidae* die Oxalate zu speichern beginnen. Es liegt auf der Hand, daß die hohen Oxalatsmengen von den Raupen nicht innerhalb weniger Tage exkretiert werden können, sondern über einen längeren Zeitraum gespeichert werden müssen, damit sie schließlich innerhalb kurzer Zeit für den Kokonbau verwendet werden können.

Die vollkommen abweichende Struktur der Ablagerungen auf den Gespinsten der Rhopaloceren läßt auch auf eine andere Entstehung schließen. Da die einzelnen Kristallite den Gespinstfäden ganz gleichmäßig aufgelagert sind, ist anzunehmen, daß sie während des Spinnvorganges bereits in flüssigem Zustand aufgelagert werden und erst danach auskristallisieren. Leider enthält die Literatur zu dieser Frage trotz des großen Interesses, das der Zucht und Beobachtung der Rhopaloceren zugewendet wird (F r i e d r i c h 1975) keine Hinweise.

5. Zusammenfassung

Rasterelektronenoptische Untersuchungen von Lepidopteren-Kokons lassen fünf verschiedene Gespinst-Typen erkennen, die als Seidenspinner-, Lymantriiden-, Kristall-Kokon-, Notodontiden- und Rhopaloceren-Typ bezeichnet werden. Die drei letztgenannten Gespinsttypen enthalten neben Seidenproteinen andere Substanzen, die beim Kristall-Kokon-Typ (bei *Lasiocampa quercus* und *Zygaena fausta*) chemisch, röntgenspektrometrisch und röntgendiffraktometrisch identifiziert wurden. Sie bestehen aus Calcium-Oxalat-Monohydrat in der Modifikation Whewellit, die auch in den Körpersteinen von Menschen nachgewiesen wurde. Herkunft und Bildungsweise der Kristalle werden diskutiert.

Sowohl die Kristallform als auch die Einlagerungsweise sind familientypische Merkmale und können daher als synapomorphe Merkmale zur Begründung der Monophylie taxonomischer Gruppen herangezogen werden. — Bei den Gespinsten der *Rhopalocera* sind bei allen untersuchten Familien die einzelnen Gespinstfäden mit einem feinen kristallinen Überzug versehen, der anscheinend bereits während des Spinnvorganges aufgetragen wird.

6. Literatur

- B l a i c h, R. & R u p p r e c h t, W. (1968): Vergleichende Untersuchungen an Arthropodenspinsten. — *Naturwissenschaften* 55: 300—301.
B o u r g o n n e, J. (1951): Ordre des Lépidoptères. — in: G r a s s é, P. (edit.): *Traité de Zoologie* 10 (1): 174—448. — Masson, Paris.

- Bricteux, S., Fukuda, T., Dewandere, A. & Florkin, M. (1959): Contribution to silkworm biochemistry. VIII. Conversion of Pyruvate into Alanine, Glycine and Serine of silkfibrin. — Arch. int. Physiologie et Biochimie 67: 545—552.
- Duchâteau, Ch., Florkin, M. & Leclerq, J. (1960): Contributions à la Biochimie du ver à soie. XIII. La composition de la fibroïne du cocon de Bombyx mori L., comparée à celle des fibroïnes d'autres cocons de Lépidoptères. Essai de taxonomie moléculaire. — Arch. int. Physiologie et Biochimie 68: 190—195.
- Deegener, P. (1928): Der Darmtraktus und seine Anhänge in Schröder, Chr. (Herausg.): Handbuch der Entomologie, Bd. 1. — Fischer, Jena.
- Dewitz, J. (1904 a): Über die Herkunft des Farbstoffes und des Materials der Lepidopterenkokons. — Zool. Anz. 27: 161—168.
- — (1904 b): Die Farbe von Lepidopterenkokons. — Zool. Anz. 27: 617—621.
- — (1921): Weitere Mitteilungen über die Entstehung der Farbe gewisser Schmetterlingskokons. — Zool. Jahrb., Abt. Allg. Zool. Physiol. Tiere 38: 365—404.
- Friedrich, E. (1975): Handbuch der Schmetterlingszucht. — Kosmos, Stuttgart.
- Helm, F. (1876): Über die Spinndrüsen der Lepidoptera. — Z. wiss. Zool. 26: 434—469.
- Réaumur, R. A. F. de (1734, 1736): Mémoires pour servir à l'histoire des insectes, vol. 1, Mém. 12 und vol. 2, Mém. 7. — Imprim. Royale, Paris.
- Schindler, E. (1878): „Lepidoptera“, in: Beiträge zur Kenntnis der Malpighi'schen Gefäße der Insecten. — Z. wiss. Zool. 30: 587—660.
- Tarmann, G. (1975): Die Zygaeniden Nordtirols (Insecta: Lepidoptera. — Veröff. Mus. Ferdinandeum 55: 113—251.
- Urbahn, E. (1943): Kokonbau- und -färbung bei Poecilocampa populi L. und Zygaena loniceræ Schev. (Lep.). — Stettin. ent. Z. 104: 78—82.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. Clas M. Naumann, Universität Bielefeld, Fakultät für Biologie,
Postfach 8640, D-4800 Bielefeld 1, Bundesrepublik Deutschland